

KONINKRIJK DER



NEDERLANDEN

Bureau voor de Industriële Eigendom



Hierbij wordt verklaard, dat in Nederland op 10 december 2003 onder nummer 1024984,
ten name van:

**NEDERLANDSE ORGANISATIE VOOR TOEGEPAST-
NATUURWETENSCHAPPELIJK ONDERZOEK TNO**
te Delft

een aanvraag om octrooi werd ingediend voor:

"Werkwijze en inrichting voor het verkrijgen van informatie over de grootteverdeling van
macroscopische deeltjes in een vloeistof",

en dat de hieraan gehechte stukken overeenstemmen met de oorspronkelijk ingediende stukken.

Rijswijk, 19 januari 2005

De Directeur van het Bureau voor de Industriële Eigendom,
voor deze,



Mw. D.L.M. Brouwer

UITTREKSEL

Aan de hand van een reeks reflectiemetingen aan een vloeistof worden parameters berekend die een deeltjesgrootteverdeling van deeltjes in de vloeistof beschrijven. In elke reflectiemeting wordt een signaalbundel in de vloeistof wordt opgewekt en een waarde van een eigenschap zoals de amplitude van een reflectie aan een deeltje in de signaalbundel gemeten. Met behulp van een maximum likelihood schatting worden de parameters van de deeltjesgrootteverdeling geschat, op basis van een uitdrukking voor een waarschijnlijkheid van de gemeten waardes als functie van de gemeten waardes. De gebruikte uitdrukking bevat een eerste factor voor de waarschijnlijkheid van een reflectiemeting waarvan een reflectie met de gemeten waarde onderdeel van uitmaakt, gecorrigeerd met een tweede factor voor de waarschijnlijkheid dat niet tevens een reflectie met een dominerende waarde van de eigenschap, die de gemeten waarde zou maskeren, deel uitmaakt van de reflectiemeting.

Titel: Werkwijze en inrichting voor het verkrijgen van informatie over de grootteverdeling van macroscopische deeltjes in een vloeistof

De uitvinding betreft een werkwijze en inrichting waarin, met behulp van weerkaatsing van een ultrasone pulsen door macroscopische deeltjes zoals van oliedruppels of zandkorrels in water, informatie over de grootteverdeling van de deeltjes in een vloeistof bepaald wordt.

5

Europese octrooiaanvraag No. 0801305 beschrijft een inrichting voor het karakteriseren van een suspensie. De inrichting wekt ultrasone pulsen op in een bundel in een vloeistof. Reflectie van een puls aan een individueel deeltje in de vloeistof resulteert in een echo. Als het deeltje zich op een gegeven positie bevindt is de amplitude van de reflectie één op één aan de grootte van het deeltje gekoppeld. Bij metingen aan reflecties van achtereenvolgende pulsen op deeltjes van verschillende grootte worden zodoende verschillende amplitudes gemeten.

De bekende inrichting maakt een histogram van tellingen van het aantal keren dat reflecties met verschillende amplitude voorkomen. Het histogram bevat informatie over de deeltjesgrootteverdeling, dat wil zeggen de concentratie van deeltjes als functie van de grootte van de deeltjes. Met informatie over de deeltjesgrootteverdeling op zijn beurt kan bijvoorbeeld de totale concentratie van deeltjes in de vloeistof bepaald worden.

Europese octrooiaanvraag No. 0801305 beschrijft een techniek om informatie over de grootte uit de verdeling van de amplitudes te halen. Er wordt een uitdrukking gebruikt voor de waarschijnlijkheid dat reflecties met verschillende amplitudes optreden. Deze uitdrukking relateert de waarschijnlijkheid aan de deeltjesgrootteverdeling. Als de reflecterende deeltjes zich altijd op dezelfde plaats in de bundel zouden bevinden dan zou het aantal reflecties met een bepaalde amplitude evenredig zijn met de fractie aan deeltjes met de grootte die tot die amplitude leidt.

De informatie over de deeltjesgrootte verdeling zit echter versmeerd over de amplitudes, omdat de reflectieamplitude van een deeltje behalve van de grootte van het deeltjes ook afhankelijk is van de positie van het deeltje in de bundel. Hoe verder het deeltje zich bij reflectie uit het centrum van de bundel bevindt, hoe kleiner de amplitude. De gebruikte
 5 uitdrukking voor de waarschijnlijkheid van een reflectiemeting met een bepaalde amplitude versmeert de deeltjesgrootteverdeling over de amplitudeverdeling om dit effect tot uitdrukking te brengen.

Met behulp van een maximum likelihood techniek worden
 10 parameters van de deeltjesgrootte verdeling geschat die de zo uitgedrukte waarschijnlijkheid van de daadwerkelijk gemeten aantallen deeltjes maximaliseren. Zodoende wordt de versmering ongedaan gemaakt. In concreto worden de parameters zo gekozen dat een som geminimaliseerd wordt van de kwadraten van de verschillen tussen gemeten aantallen
 15 reflecties met amplitudes in verschillende amplitudebereiken en voorspelde aantallen. Een dergelijke som is een indicatie voor de waarschijnlijkheid van de combinatie van gemeten reflecties, maar uiteraard kunnen ook andere indicaties van de waarschijnlijkheid gebruikt worden, zoals het product van de waarschijnlijkheden van de verschillende gemeten
 20 amplitudes.

Een noodzakelijk voorwaarde voor de gebruikte techniek is dat de reflecties van individuele deeltjes onderscheiden kunnen worden. Als reflecties van meerdere deeltjes door elkaar gemeten worden, dan raakt een deel van de reflecties gemaskeerd. Zo kan reflectie van een groter deeltje
 25 reflectie van een kleiner deeltje onzichtbaar maken, maar ook kan reflectie van een kleiner deeltje reflectie van een groter deeltje maskeren als het grotere deeltje zich voldoende veel verder uit het centrum van de bundel bevindt dan het kleinere deeltje.

Zodoende geeft de techniek alleen bij voldoende lage concentraties
 30 betrouwbare resultaten. De maximaal bruikbare concentratie kan verhoogd

worden door het minimaliseren van het volume waarin deeltjes ononderscheidbaar gemeten worden, bijvoorbeeld door het gebruik van een gefocusseerde bundel en kleine tijdswindows waarin echo's geaccepteerd worden. Er zijn echter grenzen aan de toepasbaarheid van dergelijke technieken. Daarom beperkt de eis van gescheiden waarneming van individuele deeltjes de toepasbaarheid van de techniek.

Het is een doel van de uitvinding om het gebruik van ultrasone metingen voor de karakterisatie van deeltjesgrootteverdeling in vloeistoffen bruikbaar te maken voor hogere concentraties.

De huidige uitvinding berust op de realisatie dat het mogelijk is om met een statistisch model het effect van het missen van deeltjes te corrigeren en dat daardoor de bekende meettechniek ook voor grotere concentraties gebruikt kan worden.

De uitvinding voorziet in een werkwijze volgens de conclusie 1. In de werkwijze worden de parameters van de deeltjesgrootte verdeling geschat met een maximum likelihood techniek, waarbij gebruik gemaakt wordt van een uitdrukking voor de waarschijnlijkheid van meting van reflectieamplitudes in termen van twee factoren. De eerste factor drukt de waarschijnlijkheid $P_0(A)$ uit van een reflectiemeting waarvan een reflectie met de waarde A onderdeel van uitmaakt, onafhankelijk van de vraag of deze waarde gemaskeerd wordt doordat tevens een reflectie met een grotere waarde optreedt. Deze eerste factor komt in wezen overeen met de hele in de stand der techniek gebruikte uitdrukking voor de waarschijnlijkheid.

De tweede factor in de volgens de uitvinding gebruikte uitdrukking omvat de waarschijnlijkheid dat niet tevens een reflectie met een dominerende waarde van de eigenschap, die de gemeten waarde zou maskeren, deel uitmaakt van de reflectiemeting. Zodoende wordt het effect van maskering bij de schatting van de parameters meegenomen. Bij de

maximum likelihood schatting wordt zodoende zowel het effect van versmering als het effect van maskering samen meegenomen.

Deze en andere doelen en voordelige aspecten van de uitvinding zullen
5 worden beschreven aan de hand van de volgende figuren

Figuur 1 toont een inrichting voor het karakteriseren van een vloeistof
Figuur 2 toont aantallen reflecties met verschillende amplitudes
Figuur 3 toont een gereconstrueerde deeltjesgrootteverdeling
10 Figuur 4 toont een berekende concentratie
Figuur 5 toont een flow chart van een werkwijze om parameters van een deeltjesgrootteverdeling te schatten

Figuur 1 toont een inrichting voor het karakteriseren van een vloeistof, De
15 inrichting omvat een vloeistofkanaal 11, controle eenheid 10, een signaalgenerator 12, een ultrasone transducer 14, een detector 16 en een rekeneenheid 18. Controle eenheid 10 is aan signaalgenerator 12, detector 16 en rekeneenheid 18 gekoppeld. Signaalgenerator 12 heeft een uitgang die aan transducer 14 gekoppeld is. Detector 16 heeft een ingang die aan
20 transducer 14 gekoppeld is. Detector 16 heeft een uitgang die aan rekeneenheid 18 gekoppeld is. Transducer 14 is aan kanaal 11 gekoppeld voor het opwekken van een ultrasone bundel.

In bedrijf stroomt een vloeistof met daarin zwevende deeltjes door kanaal 11. Controle eenheid 10 triggert achtereenvolgende reflectiemetingen in elk
25 waarvan signaalgenerator 12 een puls genereert die door transducer 14 in een ultrasone golf in kanaal 11 wordt omgezet. Transducer 14 vangt reflecties van de puls op en voert resulterende signalen aan detector 16 toe. Detector 11 selecteert signalen die in een bepaald tijdswindow ten opzichte van de opgewekt puls optreden. Als gevolg van de geluidssnelheid in
30 vloeistof definieert het tijdswindow een zone vanwaaruit deeltjes aanleiding

kunnen geven tot reflecties. Detector 16 meet de amplitude van het reflectiesignaal (indien aanwezig) in het tijdswindow en voert de gemeten waarde van de amplitude toe aan rekeneenheid 18.

Rekeneenheid 18 verzamelt histogram informatie van de amplitudes.

- 5 Hiertoe gebruikt rekeneenheid een aantal amplituderanges en accumuleert rekeneenheid tellingen van het aantal reflectiemetingen die reflectieamplitudes in de respectieve ranges hebben opgeleverd. Nadat zodoende een groot aantal reflectiemetingen is uitgevoerd berekent rekeneenheid 18 uit de histogram informatie verdere informatie over de
- 10 deeltjesgrootte verdeling.

- Figuur 2 toont een gesimuleerd voorbeeld van histogrammen voor vloeistoffen waarin verschillende concentraties van deeltjes aanwezig zijn, terwijl die deeltjesgrootteverdeling $f_D(D)$ telkens hetzelfde is (dat wil zeggen dat de fractie van de deeltjes met een grootte tussen D en $D+dD$ telkens
- 15 $f_D(D)dD$ is voor elke waarde van D). Zichtbaar is dat, behalve een toename van de aantallen reflecties ook de vorm van de amplitude verdeling verandert bij toenemende concentratie.

- Figuur 3 toont met gestippelde lijnen schattingen van de deeltjesgrootte verdeling die uit de amplitude histogrammen kan worden
- 20 berekend op basis van de bekende techniek, voor een aantal verschillende concentraties. Tevens wordt de werkelijke verdeling getoond. De bekende techniek houdt geen rekening met het effect van de concentratie op de vorm van de amplitudeverdeling. Het resultaat is dat de geschatte deeltjesgrootteverdelingen onderling verschillen en bij hogere concentraties
- 25 afwijken van de echte deeltjesgrootteverdeling.

- De uitvinding voorziet in een verbetering van de bekende techniek om de deeltjesgrootteverdeling te schatten, zodat ook voor het effect van de concentratie van de deeltjes gecorrigeerd kan worden. Deze verbetering berust op de realisatie dat de afwijking van de vorm van de histogrammen
- 30 van figuur 2 een gevolg is van maskering van reflectieamplitudes die bij de

een reflectiemeting wel optreden, maar in de telling gemist worden omdat bij dezelfde reflectiemeting één of meer reflecties met een grotere amplitude optreden.

Daartoe wordt een uitdrukking gebruik voor de
 5 waarschijnlijkheidsverdeling $P(A)dA$ dat een reflectiemeting een gemeten amplitude oplevert die in een infinitesimaal interval tussen A en $A+dA$ ligt. Deze uitdrukking heeft de vorm van

$$P(A) = P_0(A) Q(A)$$

10

Hierin correspondeert $P_0(A)$ met de ongemaskeerde waarschijnlijkheidsverdeling, dat wil zeggen waarschijnlijkheid van aanwezigheid van een reflectie, los van de vraag of deze gemaskeerd wordt door een andere reflectie met een grotere amplitude. De factor $Q(A)$ drukt de
 15 waarschijnlijkheid uit dat er in de dezelfde reflectiemeting geen deeltjes reflecties met grotere of gelijke amplitude dan A veroorzaken.

De factor $P_0(A)$ komt overeen met de waarschijnlijkheidsverdeling die in de stand der techniek gebruikt wordt voor de gehele waarschijnlijkheid verdeling $P(A)$ dat een amplitude A in het interval A tot
 20 $A+dA$ ook daadwerkelijk gemeten wordt (dwz onder verwaarlozing van de mogelijkheid dat een reflectie gemaskeerd wordt). Deze factor $P_0(A)$ kan op op zich bekende wijze in de deeltjesgrootteverdeling $f_D(D)$ worden uitgedrukt. Een uitdrukking voor deze factor is bijvoorbeeld

25

$$P_0(A) = C \int dD f_D(D) G(A|D) V_{\text{meas}}(D)$$

Hierin is C de concentratie van de deeltjes (het gemiddeld aantal deeltjes per volume-eenheid). $G(A|D)$ is de conditionele waarschijnlijkheid dat er een reflectie met amplitude A detecteerbaar is, als een deeltje met een
 30 grootte D een detecteerbare reflectie oplevert. De conditionele

waarschijnlijkheid $G(A|D)$ drukt het effect uit dat een deeltje met een grootte D op verschillende afstanden van het centrum van de bundel aanleiding geeft tot verschillende reflectie amplitudes. $V_{\text{meas}}(D)$ is het totale vloeistofvolume vanwaaruit een deeltje met grootte D een detecteerbare reflectie kan opleveren. Dit volume wordt in de diepte gedefinieerd door het tijdswindow vanwaaruit tijdens de meting reflecties geaccepteerd worden en in de breedte door de afval van de bundelintensiteit tot een punt waarop de amplitude van de opgewekte reflecties niet meer boven het ruisniveau A_n uitsteekt.

- 10 In het veel voorkomende geval van een Gaussisch verdeelde bundel kan het volume $V_{\text{meas}}(D)$ worden uitgedrukt als

$$V_{\text{meas}}(D) = \pi \Delta z \log(A_o(D)/A_n)/2\kappa$$

- 15 Hierin is Δz het diepteinterval waaruit reflecties geaccepteerd worden, κ is de standaard deviatie die bepaald wordt door de snelheid waarmee de intensiteit van de bundel als functie van de afstand tot het centrum van de bundel afvalt. $A_o(D)$ is de maximale amplitude die een reflectie van een deeltje met grootte D zou opleveren als het deeltje zich in het centrum van de bundel zou bevinden.

20 Voor een Gaussische bundel kan ook een uitdrukking voor de conditionele waarschijnlijkheid $G(A|D)$ worden gegeven:

$$G(A|D) = 1/\{A \cdot \log(A_o(D)/A_n)\}$$

25

Deze uitdrukking geldt mits $A_o(D) > A > A_n$. Voor amplitudes groter dan de maximaal met een deeltjesgrootte D haalbare amplitude $A_o(D)$ of kleiner dan het ruisniveau A_n is de conditionele kans op detectie $G(A|D)$ gelijk nul.

Het zal overigens duidelijk zijn dat voor bundels met een andere dan Gaussische verdeling overeenkomstig andere uitdrukkingen voor $V_{\text{meas}}(D)$ en $G(A|D)$ gebruikt zullen worden.

De nieuw geïntroduceerde factor $Q(A)$, die het effect van maskering van reflecties door andere reflecties met een grotere of gelijke amplitude dan de amplitude A uitdrukt, kan eveneens worden uitgedrukt in termen van de concentratie C en de deeltjesgrootteverdeling $f_D(D)$. Maatgevend hiervoor is de integraaluitdrukking

$$W(A) = \int dA' \int dD f_D(D) G(A'|D)$$

Hierin wordt de integraal over de amplitude genomen van het ruisniveau tot aan de amplitude A , waarvoor de kans op detectie berekend wordt. De factor Q kan worden benaderd door

$$Q(A) = \exp[-C(1-W(A))]$$

Of bij benadering door een factor

$$Q(A) = [1-p + p(1-W(A)/V_{\text{meas}})]^n$$

Waarin de som over k genomen wordt van 1 tot n ; n is een geheel getal dat niet groter is dan het maximaal aantal deeltjes dat fysisch past in het volume vanwaaruit meetbare reflecties optreden, maar ruimschoots groter dan het gemiddeld aantal deeltjes dat meetbare reflecties oplevert en $p = CV_{\text{meas}}/n$, waarbij V_{meas} het volume is van waaruit de grootste deeltjes nog echos boven het ruisniveau kunnen opwekken.

Een alternatieve uitdrukking voor de $P_0(A)$ factor is bijvoorbeeld

$$P_0(A) = C \int dD f_D(D) \partial V(A,D) / \partial A$$

Hierin is C de concentratie van de deeltjes (het gemiddeld aantal deeltjes per volume-eenheid). $V(A,D)$ is het volume waaruit een deeltje met grootte D een echo met een amplitude groter of gelijk A oplevert. Dit volume wordt in de diepte gedefinieerd door het tijdswindow vanwaaruit tijdens de meting
 5 reflecties geaccepteerd worden en in de breedte door de afval van de bundelintensiteit met de afstand tot het centrum van de bundel.

In het veel voorkomende geval van een Gaussisch verdeelde bundel kan het volume $V(A,D)$ worden uitgedrukt als

$$10 \quad V(A, D) = \pi \Delta z \log(A_0(D)/A)/2\kappa$$

Hierin is Δz het diepteinterval waaruit reflecties geaccepteerd worden, κ is een parameter die de snelheid karakteriseert waarmee de intensiteit van de bundel als functie van de afstand tot het centrum van de bundel afvalt.

15 $A_0(D)$ is de maximale amplitude die een reflectie van een deeltje met grootte D zou opleveren als het deeltje zich in het centrum van de bundel zou bevinden. Het zal overigens duidelijk zijn dat voor bundels met een andere dan Gaussische verdeling overeenkomstig andere uitdrukkingen voor $V(A, D)$ gebruikt zal worden.

20 De nieuw geïntroduceerde factor $Q(A)$, drukt de waarschijnlijkheid uit dat er naast de echo met amplitude A geen echo's met grotere amplitude optreden. Dit beschrijft het effect van maskering van reflecties door andere reflecties met een grotere of gelijke amplitude dan de amplitude A . De factor $Q(A)$, kan eveneens worden uitgedrukt in termen van de concentratie C en
 25 de deeltjesgrootteverdeling $f_D(D)$. Maatgevend hiervoor is de integraaluitdrukking

$$W(A) = \int dD f_D(D) V(A,D)$$

30 De factor Q kan worden benaderd door

$$Q(A) = \exp[-CW(A)]$$

- Aan de hand van de uitdrukking $P(A) = P_o(A) Q$ voor de
 5 waarschijnlijkheidsverdeling van metingen van reflecties met amplitude A
 die niet gemaskeerd worden door reflecties met grotere amplitude wordt uit
 het stelsel van reflectie amplitudes dat in een groot aantal metingen
 gemeten is de deeltjes grootte verdeling $f_D(D)$. Dit gebeurt bijvoorbeeld door
 een schatting $f_D(D)$ te zoeken die de som E minimaliseert van de kwadraten
 10 tussen de voorspelde aantallen metingen N_{pred} van amplitudes in een reeks
 amplitude intervallen IA_i en de daadwerkelijk gemeten aantallen N_{meas}

$$E = \sum_i (N_{meas}(IA_i) - N_{pred}(IA_i))^2$$

- 15 Deze som is in feite een indicatie voor de waarschijnlijkheid van het
 gemeten stelsel van amplitudes, zodat de deeltjes grootte verdeling $f_D(D)$
 gekozen wordt die dit stelsel het meest waarschijnlijk maakt. Uiteraard kan
 in plaats van de som van de kwadraten ook met behulp van andere
 indicaties van de waarschijnlijkheid gemaximaliseerd worden, bijvoorbeeld
 20 met behulp van een product

$$\prod_i P_o(A_i) Q(A_i)$$

van de waarschijnlijkheden van de verschillende metingen A_i .

- 25 Bij deze schatting wordt bijvoorbeeld een parametrisatie van de
 deeltjesgrootteverdeling $f_D(D)$ gebruikt, bijvoorbeeld in de vorm van een
 multimodale verdeling

$$f_D(D) = \sum_i c_i \exp(-(D-D_i)^2/2\sigma_i^2)$$

($i=1, 2..M$). In dit geval worden de parameters c_i , D_i en σ_i^2 zo geschat dat de volgens de gebruikte indicatie de waarschijnlijkheid van de het gemeten stelsel reflectie amplitudes gemaximaliseerd wordt. Technieken voor dergelijke maximalisaties zijn in hun algemeenheid bekend, en door deze
 5 toe te passen op een uitdrukking $P_o(A) Q(A)$ voor de waarschijnlijkheid van gemeten (en niet gemaskeerde) reflectieamplitudes verkrijgt men een schatting voor de parameters.

Figuur 3 toont tevens verschillende deeltjesgrootteverdelingen die zodoende uit de aantallen reflecties in de voorbeelden van figuur 2 berekend
 10 worden. Deze verdelingen vallen binnen de nauwkeurigheid van de figuur nagenoeg samen met de werkelijke verdeling. Het zal duidelijk zijn dat zodoende een betere schatting van de deeltjesgrootteverdeling verkregen wordt.

Figuur 4 toont de gevolgen van de schatting van de deeltjesgrootte
 15 verdeling voor de concentratie. De concentratie is de fractie van de vloeistof die door de deeltjes wordt gevormd. Horizontaal staat de werkelijke concentratie en verticaal de uit de (gesimuleerde) metingen berekende concentratie. De getrokken lijn geeft aan waar berekende en werkelijke concentratie gelijk zijn. De cirkels geven de met de nieuwe techniek
 20 berekende concentratie en de kruisjes de met de stand der techniek berekende concentraties. Uit de figuur blijkt dat met name voor hogere concentraties duidelijk betere resultaten verkregen worden.

Het zal duidelijk zijn dat de uitvinding niet gebonden is aan deze specifieke wijze van schatten van de deeltjesgrootteverdeling. Zo kan
 25 bijvoorbeeld een andere vorm van parametriseren van de deeltjesgrootte verdeling gebruikt worden, bijvoorbeeld aan de hand van de waarden (en/of afgeleiden) van de deeltjesgrootteverdeling voor een aantal deeltjesgroottes en een interpolatie van de deeltjesgrootteverdeling tussen deze deeltjesgroottes, of bijvoorbeeld in de vorm van een quotiënt van twee
 30 polynomen, waarvan de coëfficiënten de parameters vormen. Ook kunnen

benaderingen voor de verschillende termen in de wiskundige formule voor de kans $P(IA)$ gebruikt worden.

Verder kan bijvoorbeeld eerst een schatting gemaakt worden van de factor $Q(A)$ als functie van de amplitude A (bijvoorbeeld door provisorisch de deeltjesgrootte verdeling te schatten en vervolgens de factor met die provisorisch geschatte verdeling uit te rekenen) en vervolgens kan men de gemeten aantallen reflecties $N_{\text{meas}}(A)$ met verschillende amplitudes corrigeren met deze factor $N_{\text{corr}}(A) = N_{\text{meas}}(A)/Q(A)$. Uit de gecorrigeerde aantallen kan vervolgens op de uit de stand der techniek bekende wijze de deeltjesgrootte verdeling geschat worden.

Hoewel de uitvinding beschreven is in termen van de expliciete deeltjesgrootteverdeling $f_D(D)$ zal het duidelijk zijn dat het voor bepaalde toepassingen niet nodig is om deze deeltjesgrootte verdeling ook expliciet uit te rekenen. Wanneer alleen een grootheid zoals bijvoorbeeld de massadichtheid aan deeltjes nodig is, die volgt uit de integraal

$$\int dD f_D(D) m(D)$$

dan kan deze grootheid, die een parameter van de deeltjesgrootte verdeling is ook impliciet berekend worden bij het schatten van de parameters van de deeltjesgrootteverdeling die het stelsel van gemeten reflectie amplitudes het meest waarschijnlijk maakt.

De gebruikte techniek is niet beperkt tot metingen aan amplitudes, maar kan uitgebreid worden op elke vorm van metingen van eigenschappen van de reflecties waarbij, bij aanwezigheid van meerdere deeltjes die reflecties veroorzaken, het effect van een dominerend deeltje het effect van de overige deeltjes maskeert.

De techniek is met name ook toepasbaar op vloeistoffen die verschillende soorten deeltjes bevatten, wanneer onderscheid gemaakt kan worden van welk soort deeltje tot een reflectiemeting aanleiding geeft. Dit

onderscheid kan bijvoorbeeld aan het reflectiesignaal zelf zichtbaar zijn, bijvoorbeeld door het teken van de eerste piek in een ontvangen ultrasoon reflectiesignaal in response op een ultrasone puls met een bepaald teken. In het geval van water waarin oliedruppels en zandkorrels zijn opgelost, 5 bijvoorbeeld, kunnen reflecties aan zandkorrels en oliedruppels onderscheiden worden aan het teken van de reflectie.

De gecorrigeerde waarschijnlijkheidsverdeling $P_j(A)dA$ voor een meting van een reflectie van een deeltje van type j , met een amplitude in een bereik tussen A en $A+dA$ kan in dit geval beschreven worden met

10

$$P_j(A) = P_{j0}(A) \prod_i Q_i(A)$$

Hierin beschrijven verschillende factoren $Q_i(A)$ voor elk verschillend soort deeltjes i de waarschijnlijkheid dat geen deeltjes van het soort i tot detectie 15 leiden met grotere amplitude dan A . De factoren $Q_i(A)$ worden elk op de bovenbeschreven manier uitgedrukt in de deeltjesgrootteverdeling $f_{Di}(D)$ van een respectievelijke soort deeltjes i , evenals de waarschijnlijkheden $P_{j0}(A)$. Met deze uitdrukkingen voor $P_j(A)$ voor verschillende soorten deeltjes en een stelsel metingen van reflectieamplitudes die geklassificeerd zijn naar het 20 betrokken soort deeltjes kunnen op de bovenbeschreven wijze parameters van de deeltjesgrootteverdelingen $f_{Di}(D)$ geschat worden. Zo kunnen bijvoorbeeld deeltjesgrootteverdelingen geschat worden die een samengestelde som minimaliseren van kwadraten van afwijkingen

25

$$E = \sum_i \sum_m (N_{i_{meas}}(IA_m) - N_{i_{pred}}(IA_m))^2$$

van de aantallen $N_{i_{meas}}$ van gemeten reflecties van deeltjes van soort m in verschillende amplitudebereiken IA_m en de voorspelde aantallen $N_{i_{pred}}$ gemeten reflecties in deze bereiken.

Figuur 5 toont samenvattend de werkwijze voor het schatten van de deeltjesgrootteverdeling. In een eerste stap 51 wordt een puls opgewekt en in een tweede stap 52 wordt gedetecteerd of er in een bepaald tijdswindow na de puls een reflectie boven het ruisniveau terugkomt. In een derde stap 53 wordt bepaald in welk van een aantal intervallen IA de amplitude valt en wordt in een geheugen een telling voor het betrokken interval opgehoogd. Vanuit een vierde stap 54 worden de eerdere stappen herhaald totdat een bepaald aantal N reflectie experimenten is uitgevoerd. Vervolgens wordt een vijfde stap 55 uitgevoerd waarin parameters van een initiële

10 deeltjesgrootteverdeling gekozen wordt. Hiermee wordt in een zesde stap 56 met behulp van de formule $P(A)=P_o(A) Q(A)$ een voorspelling van de gemeten aantallen uitgerekend en wordt een verschil met de gemeten aantallen bepaald. Als het verschil voldoende klein is stopt de werkwijze in een zevende stap 57. Anders worden in een achtste stap 58 de parameters

15 aangepast, zo dat het verschil naar verwachting zal verminderen en wordt de werkwijze vanaf de zesde stap 56 herhaald. Uiteraard wordt schatting in de werkwijze bijvoorkeur met een computer uitgevoerd.

Het zal duidelijk zijn dat de uitvinding niet is beperkt tot de beschreven werkwijze, zo hoeft bijvoorbeeld in de zesde stap 56 de het verschil niet

20 expliciet uitgerekend te worden, maar kan in plaats daarvan informatie uitgerekend worden die nodig is om de aanpassing van de parameters te kiezen en kan de werkwijze stoppen in de zevende stap 57 als de aanpassing kleiner dan een drempel is.

CONCLUSIES

1. Werkwijze voor het meten van parameters die een deeltjesgrootteverdeling van deeltjes in een vloeistof beschrijven, welke werkwijze de stappen omvat van
 - het uitvoeren van een reeks reflectiemetingen, in elk waarvan een signaalbundel in de vloeistof wordt opgewekt en een waarde (A) van een eigenschap van een reflectie aan een deeltje in de signaalbundel wordt gemeten;
 - het uitvoeren van een maximum likelihood schatting van de parameters gezien een combinatie van de gemeten waardes (A), op basis van een uitdrukking voor een waarschijnlijkheid van de gemeten waardes als functie van de gemeten waardes, welke uitdrukking een eerste factor (P) bevat voor de waarschijnlijkheid van een reflectiemeting waarvan een reflectie met de gemeten waarde onderdeel van uitmaakt, gecorrigeerd met een tweede factor (Q) voor de waarschijnlijkheid dat niet tevens een reflectie met een dominerende waarde van de eigenschap, die de gemeten waarde zou maskeren, deel uitmaakt van de reflectiemeting.
2. Werkwijze volgens conclusie 1, waarin de eerste factor (P) de deeltjesgrootte verdeling omvat, versmeerd met een kansverdeling dat een deeltje met een bepaalde grootte leidt tot een reflectiemeting waarvan een reflectie met de gemeten waarde onderdeel van uitmaakt.
3. Werkwijze volgens conclusie 1 of 2, waarin de tweede factor (Q) de waarschijnlijkheid dat een reflectie met een andere dan de gemeten waarde onderdeel van uitmaakt van een reflectiemeting, geïntegreerd over een bereik aan andere dan de gemeten waardes.
4. Werkwijze volgens conclusie 3, waarin de tweede factor nagenoeg overeenkomt met $\exp(-C \int dA' f_D(D) G(A' | D))$, waarin D een deeltjesgrootte is, C een concentratie van de deeltjes, $f_D(D)$ een dichtheid

van deeltjes met deeltjesgrootte D en $G(A | D)$ is de conditionele waarschijnlijkheid dat er een reflectie met amplitude A detecteerbaar is, als een deeltje met een grootte D een detecteerbare reflectie oplevert.

5. Werkwijze volgens één der voorafgaande conclusies, waarin de
5 maximum likelihood schatting het maken van tellingen omvat van
aantallen reflectiemetingen waarin de gemeten waarde in respectieve
waardeintervallen vallen, en de schatting zo gekozen wordt dat een
samenstel van afwijkingen tussen de tellingen in de verschillende
intervallen volgens de waarschijnlijkheid als functie van de gemeten
10 waardes voorspelde tellingen geminimaliseerd wordt.
6. Werkwijze volgens één der voorafgaande conclusies, waarin bij de
reflectiemetingen onderscheid gemaakt wordt tussen verschillende soorten
deeltjes die de reflecties veroorzaken en bij het uitvoeren van de maximum
likelihood schatting de uitdrukking gecorrigeerd wordt met een product van
15 respectieve tweede factoren voor de waarschijnlijkheid dat niet tevens een
reflectie met een dominerende waarde van de eigenschap door
respectievelijke soorten deeltjes, die de gemeten waarde zou maskeren, deel
uitmaakt van de reflectiemeting.
7. Inrichting voor het meten van parameters die een
20 deeltjesgrootteverdeling van deeltjes in een vloeistof beschrijven, welke
inrichting omvat
 - een vloeistofkanaal;
 - middelen om een ultrasone bundel op te wekken in het vloeistof kanaal;
 - middelen om een eigenschap van een reflectie van de bundel aan een
25 deeltje in het vloeistofkanaal te meten;
 - een verwerkingseenheid ingericht voor het uitvoeren van een maximum
likelihood schatting van de parameters, gezien een combinatie van de
gemeten waardes, op basis van een uitdrukking voor een waarschijnlijkheid
van de gemeten waardes als functie van de gemeten waardes, welke
30 uitdrukking een eerste factor bevat voor de waarschijnlijkheid van een

reflectiemeting waarvan een reflectie met de gemeten waarde onderdeel van uitmaakt, gecorrigeerd met een tweede factor voor de waarschijnlijkheid dat niet tevens een reflectie met een dominerende waarde van de eigenschap, die de gemeten waarde zou maskeren, deel uitmaakt van de reflectiemeting.

- 5 8. Computer programma product met instructies voor het meten van parameters die een deeltjesgrootteverdeling van deeltjes in een vloeistof beschrijven, aan de hand van van een reeks reflectiemetingen, in elk waarvan een signaalbundel in de vloeistof wordt opgewekt en een waarde (A) van een eigenschap van een reflectie aan een deeltje in de signaalbundel
- 10 wordt gemeten; welke instructies zijn ingericht voor het uitvoeren van een maximum likelihood schatting van de parameters gezien een combinatie van de gemeten waardes (A), op basis van een uitdrukking voor een waarschijnlijkheid van de gemeten waardes als functie van de gemeten waardes, welke uitdrukking een eerste factor (P) bevat voor de
- 15 waarschijnlijkheid van een reflectiemeting waarvan een reflectie met de gemeten waarde onderdeel van uitmaakt, gecorrigeerd met een tweede factor (Q) voor de waarschijnlijkheid dat niet tevens een reflectie met een dominerende waarde van de eigenschap, die de gemeten waarde zou maskeren, deel uitmaakt van de reflectiemeting.

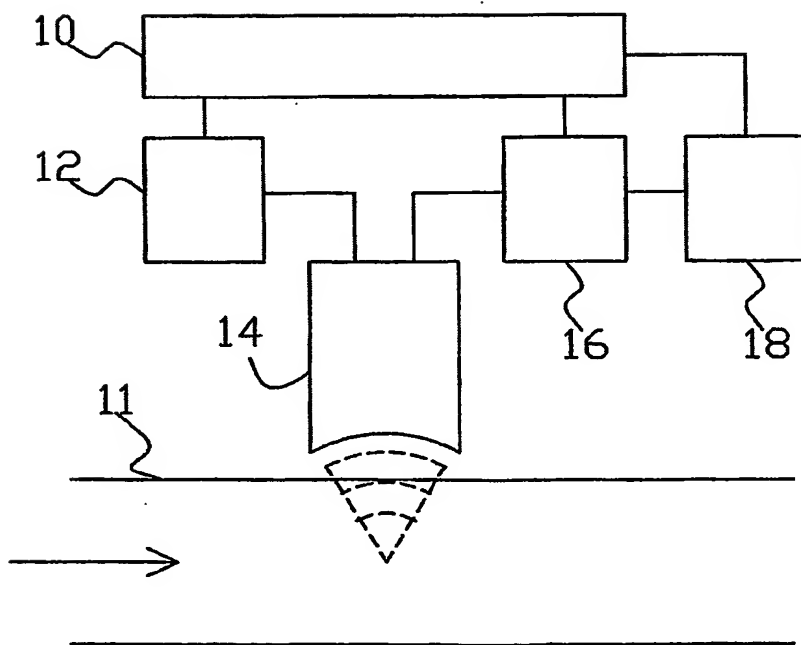
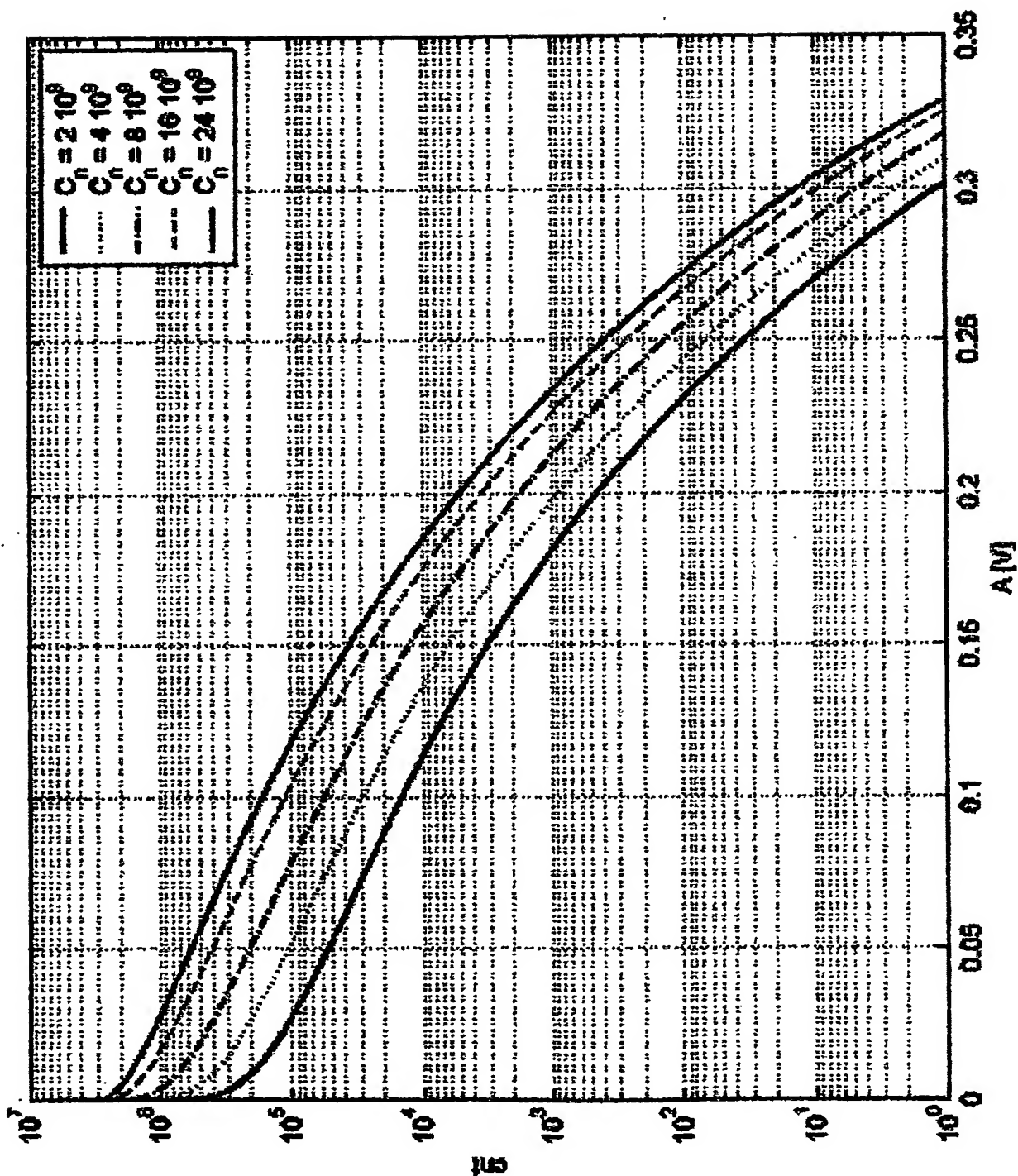


Fig.1

10 24984

Fig. 2



10 24984

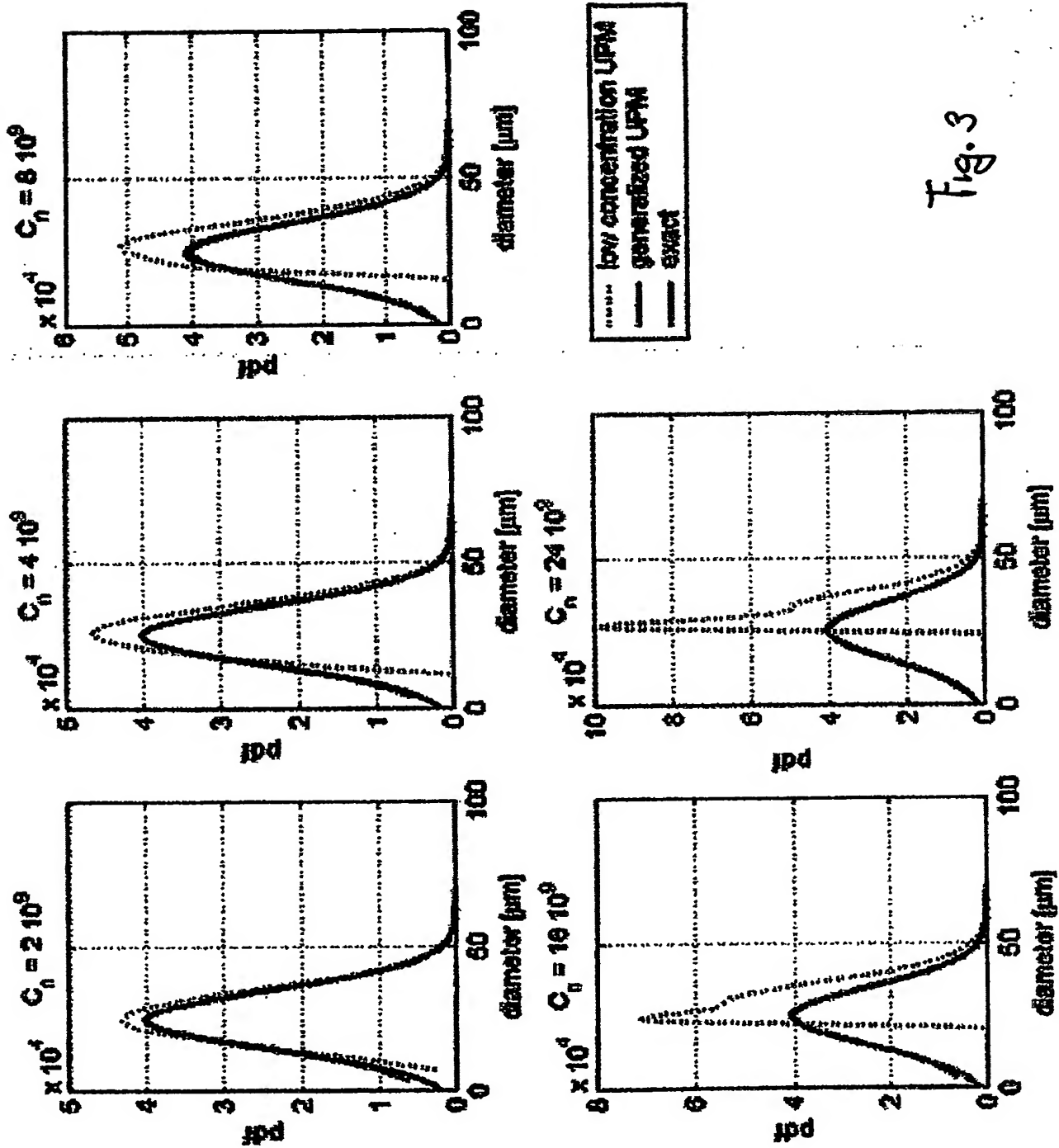
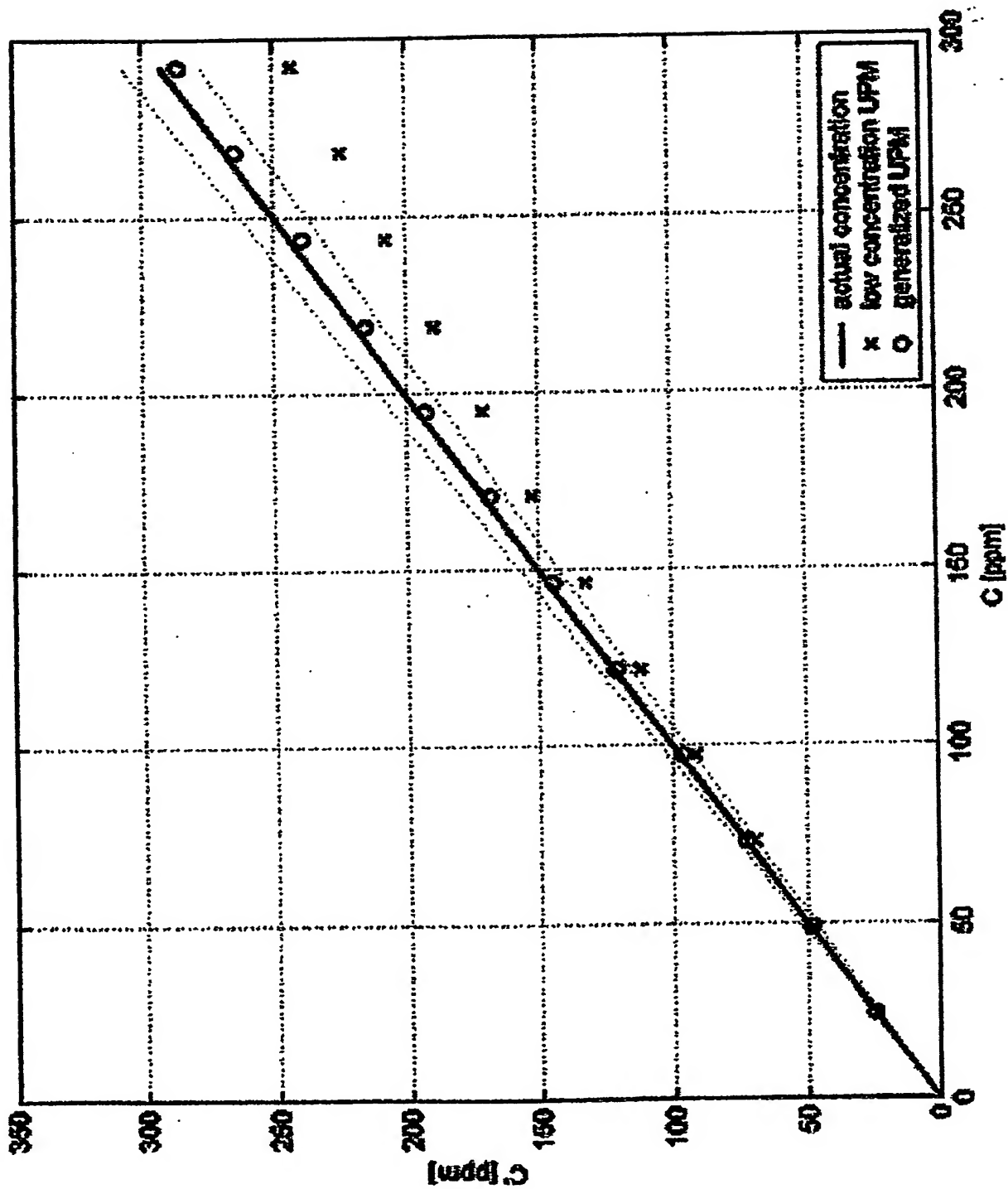


Fig. 3

Fig. 4



10 24984

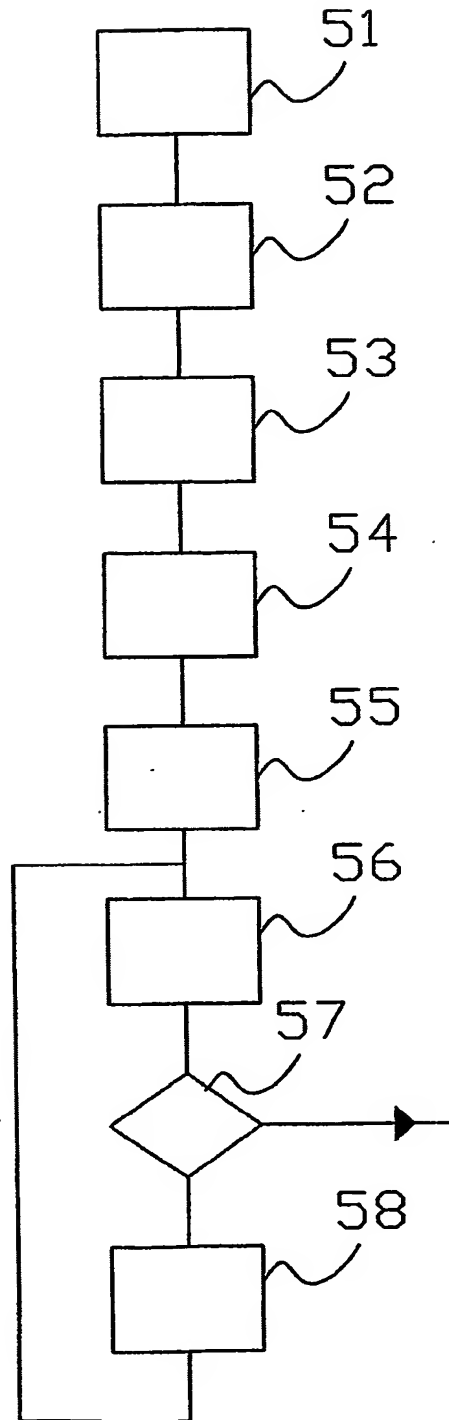


Fig.5

Document made available under the Patent Cooperation Treaty (PCT)

International application number: PCT/NL04/000857

International filing date: 09 December 2004 (09.12.2004)

Document type: Certified copy of priority document

Document details: Country/Office: NL
Number: 1024984
Filing date: 10 December 2003 (10.12.2003)

Date of receipt at the International Bureau: 11 February 2005 (11.02.2005)

Remark: Priority document submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b)



World Intellectual Property Organization (WIPO) - Geneva, Switzerland
Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI) - Genève, Suisse